



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA

G-602490

APUNTE 201 FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.

G. 602490



\*602490\*

# APUNTES DE LAS ROCAS

*Edición 1985*

602490



PROFESORES DEL DEPARTAMENTO  
DE CONSTRUCCION



VISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y GEODESICA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION

FI/DICTG/85-014

La presente publicación tiene como objetivo, familiarizar a los alumnos con los conceptos fundamentales relacionados con las rocas: origen, propiedades, clasificación y aplicaciones en la construcción.

Constituye una recopilación y ordenamiento de diferentes publicaciones, llevada a cabo por los ingenieros: Pedro Luis Benítez Esparza, Ernesto Bernal Velazco, Roberto Betancourt Arce, Luis Candelas Ramírez, Gilberto Eduardo Hernández Gómez, Ernesto R. Mendoza Sánchez, Alejandro Ponce Serrano y Alejandro Rivas Vidal, profesores de la Facultad de Ingeniería, auxiliados por el P.I. Jorge Armando Lazos Choy.

Cabe aclarar que estas notas se complementan con el material audiovisual elaborado exprofeso por el Departamento de Construcción y están enmarcadas en una serie de apuntes en los que se irán abordando los diferentes materiales de uso común en nuestro medio.

Dada su finalidad, la opinión de profesores y alumnos reviste particular importancia en la preparación de futuras ediciones.

EL DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION

# I N D I C E

Prólogo	Págs.
1. GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	
1.2 Definición	
2. COMPONENTES DE LAS ROCAS	3
2.1 Silicatos	5
2.1.1. Feldespatos	
2.1.2 Anfíbolos	
2.1.3 Piroxenas	
2.1.4 Leucita	
2.1.5 Olivino	
2.1.6 Micas	
2.1.7 Cuarzo	
2.1.8 Silicatos Hidratados	
2.2 Oxidos	7
2.2.1 Magnetita	
2.2.2 Apatita	
2.3 Carbonatos	7
2.3.1 Calcita	
2.3.2 Dolomita	
2.4 Sulfatos	7
2.4.1 Yeso y Anhidrita	
2.5 Sulfuros	8
3. PROPIEDADES FISICAS DE LOS MINERALES	8
3.1 Color	8
3.2 Rayadura	8

	Págs.
3.3 Dureza	8
3.4 Crucero	9
3.5 Fractura	9
3.6 Forma Cristalina	9
3.7 Tenacidad	10
3.8 Lustre	
4. ORIGEN Y CLASIFICACION DE LAS ROCAS	11
4.1 Rocas Igneas	11
4.2 Rocas Sedimentarias	14
4.3 Rocas Metamórficas	17
5. PROPIEDADES GENERALES DE LAS ROCAS	22
5.1 Propiedades Físicas	22
5.1.1 Porosidad	
5.1.2 Absorción	
5.1.3 Capilaridad	
5.1.4 Densidad	
5.1.5 Peso Específico	
5.1.6 Permeabilidad	
5.2 Propiedades Mecánicas	25
5.2.1 Resistencia a la Tensión	
5.2.2 Resistencia a la Compresión	
5.2.3 Resistencia al Esfuerzo Cortante	
5.2.4 Resistencia al Desgaste	

	Págs
6. EXPLOTACION DE ROCA	27
6.1 Extracción	29
6.1.1 Barrenación	
6.1.2 Carga	
6.1.3 Retaque	
6.1.4 Detonación	
6.1.5 Moneo	
6.2 Carga y Acarreo	33
6.3 Tratamiento	
7. APLICACIONES DE LAS ROCAS EN LA CONSTRUCCION	35
7.1 Mamposterías	35
7.2 Rompeolas	35
7.3 Enrocamiento en Cortinas de Materiales Graduados	35
7.4 Materia Prima para la Obtención de Agregados Pétreos, Utilizados a su vez en la Fabricación de Concreto Hidráulico y Asfáltico, Pavimentos y Balasto en Vías Férreas.	35
7.5 Acabados	35
7.6 Diques	35
7.7 Empedrados en Calles y Caminos	35

	Págs.
7.8 Brocal en Pozos	35
7.9 Pisos	35
7.10 Escaleras	35
7.11 Alcantarillas	35
7.12 Cimentaciones, etc.	35
Bibliografía	50



## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

Desde tiempos remotos, el ser humano se ha sentido poderosamente atraído a explicar el origen del Universo. En primer lugar recurrió a la religión y más tarde a la ciencia para alcanzar este objetivo.

Dentro de la fase teológica, el hombre atribuye a sus dioses la formación del Universo; la etapa científica se apoya en las teorías de Buffon, Kant, Laplace, Lockier, Chamberlín, Jeans, Edington, Kuiper y otros.

Una de las teorías más acentadas sobre la formación del Sistema Solar es la del astrónomo G.P. Kuiper. Esta teoría establece que nuestro sistema planetario fue en principio una nebulosa, que debido a la fuerza gravitacional empezó a contraerse, abandonando algunas nubes de gas alrededor del núcleo central.

Estas nubes a su vez se condensaron convirtiéndose en planetas con atmósfera y satélites. Uno de estos planetas llamado Tierra inició, a partir de este momento, un proceso de transformación que a la fecha continúa.

La tierra está constituida de manera general, por tres zonas, que corresponden asimismo a los tres estados de la materia: litósfera denominada corteza terrestre, atmósfera e hidrósfera.

La corteza terrestre, constituye el medio donde el hombre ha evolucionado, - desde las etapas primitivas hasta las formas complejas de organización de nuestros días.

Las rocas como parte de la corteza terrestre han constituido, por razones obvias en esta evolución, un elemento natural para construir.

El conocimiento de ellas, es preocupación fundamental de geólogos y petrólogos y debe serlo, en buena medida del ingeniero civil quien en última instancia toma las decisiones en los trabajos donde interviene este imprescindible material de construcción.

## 1.2 Definición

Las rocas son el producto de una formación geológica independiente, muy dura y resistente, de composición química y mineralógica constante dentro de ciertos límites, por la cual ha pasado el tiempo con lentitud hasta darles su apariencia actual formando parte de la corteza terrestre. Se presentan en la naturaleza en forma de grandes bloques monolíticos, diferenciándose así de las piedras que son bloques individuales, masas ó fragmentos que han sido extraídos de sus yacimientos naturales.

## 2. COMPONENTES DE LAS ROCAS

Las rocas conocidas de la corteza terrestre son agregados de uno ó más minerales.

Un mineral es una substancia homogénea, inorgánica, de estructura definida y de composición química determinada.

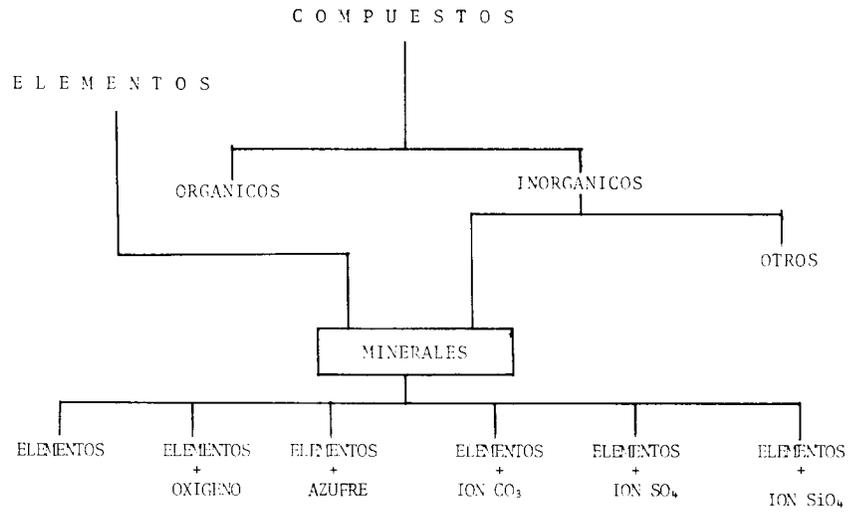
Los minerales más comunes en la corteza terrestre pueden clasificarse en relativamente pocos grupos.

Una selección de 10 grupos cubre el 99.5% de todos los minerales de las rocas ígneas, y son:

- Cuarzo
- Feldspatos
- Anfíbolas
- Piroxenas
- Micas
- Olivino
- Nefelita
- Leucita
- Magnetita
- Apatita

Hay algunos minerales accesorios que aún siendo abundantes, se encuentran sumamente diseminados, tales como los Oxidos de Fierro, Minerales de Arcilla, Carbonatos, Calcedonia, etc.

De acuerdo con su composición química los minerales pueden ser subdivididos en silicatos, óxidos, carbonatos, sulfatos y sulfuros.



ELEMENTOS	OXIDOS	SULFUROS	CARBONATOS	SULFATOS	SILICATOS
Cobre	Casiterita	Calcocita	Calcita	Anhidrita	No ferromagnesianos
Diamante	Corindón	Galena	Dolomita	Yeso	Cuarzo
Oro	Hematita	Pirita	Magnesita		Feldespatos
Grafito	Magnetita	Esfalerita			Ortoclasa
Hierro					Plagioclasa
Platino					Albita
Plata					Anortita
Azufre					Moscovita
					Ferromagnesianos
					Biotita
					Hornblenda
					Augita
					Olivino

## 2.1 Silicatos

Los silicatos se subdividen en anhidros (que no contienen H<sub>2</sub>O en sus fórmulas químicas) e hidratados. Los principales silicatos anhidros son miembros del grupo de los feldespatos.

### 2.1.1 Feldespatos

Los silicatos que constituyen las rocas más abundantes son los Feldespatos. Se dividen en los grupos: Ortoclasa-Microclina o Feldespato potásicos y Plagioclasas o Feldespatos de Sodio y Calcio. Bajo la acción de agua conteniendo CO<sub>2</sub> los Feldespatos se alteran dando minerales arcillosos. Los Feldespatos constituyen cerca del 54% de los minerales de la corteza terrestre.

### 2.1.2 Anfífolas

Comprende un grupo de silicatos químicamente complejos. Su coloración varía desde incoloro hasta negro dependiendo del contenido de hierro y el estado de oxidación. El mineral más común de este grupo es la hornblenda.

### 2.1.3 Piroxenas

Comúnmente de coloración verdosa o negra. Brillo vítreo o mate. Las variedades más comunes son la augita y la hiperstena.

### 2.1.4 Leucita

Se le encuentra formando cristales, de color muy claro. Lustre vítreo u opaco. Se le encuentra en rocas con deficiencia de sílice.

### 2.1.5 Olivino

Es un silicato de magnesio y hierro. Por lo general se encuentra en granos vítreos pequeños y en agregados granulares. Color verde o amarillento; alterado es parduzco. Es transparente o translúcido.

#### 2.1.6 Micas

Las micas se reconocen fácilmente por sus hojas delgadas, - translúcidas y flexibles que pueden ser fácilmente separadas. Los principales tipos de micas son la biotita (mica negra) que es un silicato complejo de potasio, hierro, aluminio y magnesio; translúcida ú opaca, brillo perlado a vítreo, con rayadura blanca o verdosa, y la Muscovita (mica blanca) que es un silicato complejo de aluminio y potasio; incoloro, -- aunque puede verse gris o verde; en placas delgadas es transparente o translúcido con brillo perlado a vítreo. Bajo la acción del intemperismo la Biotita se altera más fácilmente. Las rocas que contienen mucha mica se consideran como materiales malos para una cimentación.

#### 2.1.7 Cuarzo

El cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) es el único silicato mineral que forma rocas. Se presenta de color humo a incoloro, pero muchas variedades más raras incluyen colores púrpura ó violeta, humo con tonos de amarillo café, etc. Estas diferencias de color se deben a otros elementos que anarecen como impurezas las cuales no afectan su estructura cristalina.

#### 2.1.8 Silicatos hidratados

Incluyen como principales minerales: Serpentina, Clorita, Talco, Ilita, y Caolinita.

El mineral Serpentina forma la roca del mismo nombre, la cual es de color verdoso y frecuentemente es peligrosa para la construcción. Una variedad de serpentina que se llama Crisotilo es la clase más importante de los asbestos.

Las cloritas son comunes en esquistos y pizarras. Se asemejan a la mica verde pero es flexible en vez de elástica. La clorita se presenta en forma de agregados de nequeñas escamas o como escamas individuales esparcidas en la roca.

## 2.2 Oxidos

### 2.2.1 Magnetita

Es una combinación de óxido ferroso con férrico ( $Fe_3O_4$ ) de coloración y rayadura negra, es opaco con brillo metálico ó submetálico. El imán lo atrae fuertemente.

### 2.2.2 Apatita

Este mineral se encuentra en todos los tipos de rocas ígneas y metamórficas. Varía de coloración siendo: café, gris, verde, azul, rojo ó blanco.

## 2.3 Carbonatos.

### 2.3.1 Calcita

El mineral más importante entre los carbonatos es la Calcita, es un mineral secundario, o sea que se forma posteriormente a la roca que lo contiene. Es soluble en agua que contenga  $CO_2$ . Al aplicar HCl diluido a una roca que contenga calcita, se producirá una fuerte efervescencia.

### 2.3.2 Dolomita

La Dolomita (carbonato doble Ca y Mg) posee similitudes químicas a la calcita, pero difiere de esta por su mayor dureza y por tener una reacción menos activa al HCl.

## 2.4 Sulfatos

### 2.4.1 Yeso y Anhidrita

El yeso y la anhidrita que difieren solamente en el contenido de agua estructural. Debido a ese contenido de agua, el yeso tiene un peso específico más bajo y una menor dureza que la anhidrita. Al yeso se le reconoce por su color blanco o amarillento; a veces rojizo.

### 2.5 Sulfuros

Los sulfuros se forman por la unión directa de un elemento con el azufre.

Los elementos que entran más fácilmente en combinación con el azufre son el hierro, la plata, el cobre, el plomo, el zinc y el mercurio.

## 3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES

Los minerales que componen las rocas, pueden ser conocidos gracias a sus propiedades físicas, las más importantes son las presentadas a continuación:

### 3.1 Color

El color de algunos minerales es una propiedad constante y definida y por lo tanto, una ayuda para la identificación, siempre que se le observe en superficies no intemperizadas.

Normalmente es fácil reconocer el color de un mineral, sin embargo para la identificación de minerales se tienen cuadros de comparación especiales.

### 3.2 Rayadura

La rayadura es una delgada capa de mineral pulverizado que se forma al frotar o raspar un ejemplar de mineral contra una superficie de porcelana sin pulir.

### 3.3 Dureza

La dureza es la resistencia relativa que tienen las rocas de dejarse rayar por otros cuerpos.

Una manera de medir la dureza de una roca es comparándola contra una escala de durezas llamada Escala de Mohs, que ordena diez grados de dureza de minerales conocidos.

ESCALA DE MOHS

DUREZA	EJEMPLO
1	Talco, bauxita, grafito
2	Yeso, mica, caolinita
3	Calcita, mármol, pizarra
4	Fluorita, granito, areniscas
5	Apatita, esquistos, hematita
6	Olivino, feldespato, calcedonia
7	Cuarzo
8	Topacio, circón
9	Corindón, serpentina, rubí
10	Diamante

*Escalera de Mohs*

3.4 Crucero

El clivaje ó crucero es la tendencia de un mineral a romperse conforme a direcciones preferentes a lo largo de superficies planas, tersas. Los planos de clivaje son consecuencia del arreglo interno de los átomos y representan las direcciones en que las ligaduras atómicas son --relativamente débiles.

3.5 Fractura

La estructura atómica de ciertos minerales no permite la separación a lo largo de superficies planas, es decir, cuando un mineral no tiene crucero se rompe irregularmente en una fractura.

3.6 Forma Cristalina

La forma de los cristales constituye una clave excelente para identificar un mineral.

Excepto para los minerales amorfos cada mineral tiene una forma característica de cristalizar definida por varias caras, perteneciendo a un sistema cristalográfico determinado.

Los sistemas de cristalización son seis: Isométrico, Tetragonal, Hexagonal, con dos divisiones: Hexagonal y Romboedral, Ortorrómbico, Monoclínico y Triclínico.

Solamente en algunos casos muy especiales interesa al ingeniero civil, la forma de cristalización de los minerales.

### 3.7 Tenacidad

Es la capacidad de un mineral para mantenerse sin romperse o sin doblarse. Cuando se puede romper, se dice que es frágil; que es maleable -- cuando puede hacerse con él una hoja delgada por medio de un martillo; séctil, cuando puede ser estirado en forma de alambre; dúctil cuando puede cortarse; flexible, cuando puede ser doblado, pero no recobra su forma original cuando cesa la fuerza que lo dobló y elástico cuando -- después de ser doblado recobra su forma original cuando cesa la fuerza que estaba actuando.

### 3.8 Lustre

Es la propiedad que tienen algunos minerales de reflejar la luz y la intensidad de ésta.

El lustre puede ser metálico, no metálico o submetálico. El lustre no metálico se describe como vítreo (aparencia de vidrio), grasoso (aparencia de aceite), adamantino (brillo común en los diamantes), perlado (iridiscente como perla), sedoso y resinoso.

#### 4. ORIGEN Y CLASIFICACION

Para clasificar las rocas se cuenta con varios procedimientos pero el más importante es el que se refiere a su ORIGEN. De acuerdo con él, las rocas pueden ser:

- a) Igneas,
- b) Sedimentarias y
- c) Metamórficas

##### 4.1 Rocas Igneas



Rocas ígneas son aquellas que han sido formadas por la solidificación de un magma sobre o a una cierta profundidad debajo de la superficie terrestre.

Estas a su vez atendiendo a su forma de enfriamiento pueden ser intrusivas: las cuales se solidifican en el interior de la corteza terrestre; y extrusivas o efusivas las cuales fluyeron a la superficie durante las convulsiones de la corteza terrestre o después de ellas - esparciéndose en forma de lavas.

Los magmas son masas de roca fundida dentro de la corteza de la Tierra; su temperatura estimada es de 700 a 900 °C. La composición de los magmas es tan variable como la de los materiales que componen la corteza terrestre.

Cuando la temperatura de un magma baja más que el punto de fusión de alguno de sus constituyentes, ese mineral cristalizará; si la temperatura continúa bajando, llegará un momento en que todo el magma se solidifica formando una roca.

La profundidad a la cual solidifica un magma, es un hecho que determina su textura y en algunos casos su estructura. La textura es primordialmente, una consecuencia de la rapidez de cristalización.

Las rocas ígneas se clasifican de acuerdo con la profundidad a que se forman, de acuerdo con su color y con la presencia o ausencia de cuarzo.

Las tablas a y b presentadas a continuación, resumen las características, componentes y clasificación de la rocas ígneas.

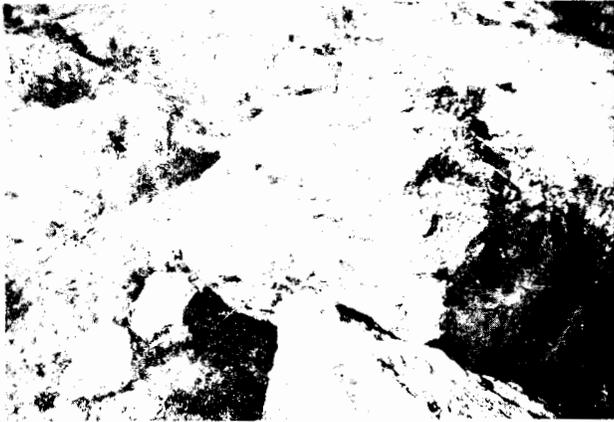
Es conveniente mencionar, que las rocas ígneas, tanto intrusivas como extrusivas tienen texturas diferentes, las cuales por lo general indican las condiciones bajo las cuales se enfriaron. Las texturas entrelazadas gruesas (llamadas fanerítica, granitoide ó granítica) resultan de un lento enfriamiento, ayudadas notablemente por enormes cantidades de agua y otras sustancias volátiles. Las texturas finas (afaníticas o felsíticas si los granos no se distinguen) resultan de un enfriamiento rápido, el cual, en realidad, puede tener lugar con tanta velocidad que únicamente se forma vidrio. Las texturas mezcladas (las llamadas Porfiríticas) por lo general explican la representación de dos etapas de solidificación; consistente de grandes cristales que se llaman Fenocristales embebidos en una pasta de cristales afaníticos más finos, los que se solidificaron alrededor de los Fenocristales.

Tabla a.

COMPOSICION Y CLASIFICACION DE ROCAS IGNEAS						
PRINCIPALES ELEMENTOS QUE FORMAN LAS ROCAS	PRINCIPALES MINERALES QUE FORMAN LAS ROCAS	R O C A S				BASICAS (oscuras)
		VITREAS O FELSITICAS (Extrusivas)	DIQUES LAMINAS INTRUSIVAS LACOLITOS	GRANO FINO PORFIRITICAS	GRANO GRUESO (Intrusivas)	
Oxígeno O	Sílice (Cuarzo) Si O <sub>2</sub>	RIOLITA	Pórfido riolítico	Pórfido granítico	GRANITO	ACIDAS (claras)
Silicio Si		TRAJUITA	Pórfido traquitico	Pórfido sienítico	SIENITA	
Aluminio Al	Ortoclasa K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	DACITA	Pórfido dacítico	Pórfido de granodiorita	GRANODIORITA	
Potasio K	Plagioclasas Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	ANDESITA	Pórfido andesítico	Pórfido diorítico	DIORITA	
Sodio Na		BASALTO	Pórfido basáltico	Pórfido de gabro	GABRO	
Calcio Ca	Ca Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	AUGITITA	Pórfido de augitita	Pórfido de piroxenita	PIROXENITA Y PERIDOTITA	
Hierro Fe	Silicatos Ferromagnesianos	LIMBURGITA				
Magnesio Mg	Micas Hornblenda Piroxena Olivino					

Tabla b.

ROCAS VOLCANICAS			
ORIGEN	NATURALEZA	R O C A	
ERUPTIVAS FRASQUILAS	VITREA	OBSIDIANA	
		PERLITA	
		PIEDRA POMEZ	
		RETINITA	
ERUPTIVAS EFUSIVAS	PIROCLASTICA (FRAGMENTOS)	PIEDRA POMEZ	
		BLOQUES	
		BOMBAS	
		SUELTAS	
		CONSOLIDADAS	
		GRAVAS	} AGLOMERADO
		LAPILLI	
		ARENAS	
CENIZAS			
POLVOS			



Las rocas sedimentarias, como su nombre lo indica, son rocas que han sido formadas por la consolidación o litificación de sedimentos.

Las características de las rocas sedimentarias dependen de una serie de factores que intervienen previamente a su formación, durante la litificación y posteriormente al quedar la roca expuesta a alteraciones por procesos diversos.

Los factores que determinan la clase de roca y sus condiciones particulares, son principalmente: la fuente o fuentes de los sedimentos, el agente erosivo y transportador, los medios ambientes de transporte y de depósito y la manera en que la roca se litifica. Posteriormente, sus propiedades son modificadas por los esfuerzos a que queda sometida, que la fracturan y la deforman y por la influencia de fenómenos tales como el metamorfismo y el intemperismo. Estos fenómenos pueden afectar tan profundamente las características de la roca que ésta se transforma completamente, dando lugar a una roca metamórfica o a un suelo.

Una característica estructural importante en la mayoría de las rocas sedimentarias, es la estratificación o disposición en capas. La estratificación de las rocas sedimentarias tiene una gran importancia en cuanto a las propiedades de la roca en conjunto, que interesan para su aprovechamiento.

Los planos de estratificación son normalmente superficies de mayor permeabilidad por lo que el flujo del agua, petróleo y gas, se hace en ese sentido. Estos planos constituyen superficies de debilidad al esfuerzo cortante, por lo que presentan problemas de derrumbes cuando las rocas se ven sometidas a esfuerzos en túneles, cortes, o cimentaciones. La explotación o excavación con explosivos en rocas estratificadas, requiere que se tome muy en cuenta la posición de esos planos para que la barrenación y el tipo de explosivo sean eficientes.

De acuerdo con su génesis se les clasifica en tres grupos: origen mecánico, químico y orgánico.

#### SEDIMENTOS DE ORIGEN MECANICO

SEDIMENTOS A. D. JAIME 2

El grupo denominado mecánico o elástico, comprende los sedimentos constituidos por partículas individuales separadas por medios mecánicos. Son primordialmente detríticos y representan agregados sueltos que son transportados y finalmente acaban por depositarse; dan lugar posteriormente a la formación de una roca por procesos de compactación o cementación.

#### SEDIMENTOS DE ORIGEN QUIMICO

Los sedimentos de origen químico, son precipitados en los cuales los cristales individuales son unidos por enlaces químicos. Constituyen una parte importante dentro de las rocas sedimentarias.

SEDIMENTOS DE ORIGEN ORGANICO

Los sedimentos de origen orgánico son formados por la acumulación de las partes duras de organismos que, al unirse por cementación constituyen una roca. Son los menos abundantes.

Los conceptos anteriormente expuestos sobre las rocas sedimentarias se resumen en la Tabla C presentada a continuación:

Tabla c.

ROCAS SEDIMENTARIAS			
ORIGEN	AGENTE TRANSPORTADOR	SEDIMENTO SUELTO	SEDIMENTO CONSOLIDADO
MECANICO	AGUA	GRAVA (Aristas Redondeadas) GRAVA (Aristas Agudas) ARENA LIMO ARCILLA	CONGLOMERADO  BRECHA  ARENISCA LIMOLITA ARGILITA } LUTITA
	VIENTO	MEDANOS LOESS	ARENISCA
	HIELO	GRAVAS ANGULOSAS ARENA LIMO ARCILLA	} TILITA
ORIGEN	NATURALEZA	SEDIMENTO	CONSOLIDADO
QUIMICO	CALCAREA	CALIZA DOLOMITA ARAGONITA TRAVERTINO MARGA	
	CALCAREA ARCILLOSA		
	SILICOSA	PEDERNAL GEYSEMITA	
	SALINA	EVAPORITAS:	SAL GEMA YESO BORAX TEQUESQUITE CRISTALILLO
ORGANICO	CALCAREA	CALIZA CORAL COQUINA CRETA	
	SILICOSA	DIATOMITA (Tízar)	
	CARBONOSA	TURBA LIGNITO HULLA ANTRACITA	



El metamorfismo puede definirse en una forma general, como cualquier cambio físico o químico en una roca. Sin embargo, el término se restringe a cambios profundos que involucran una nueva cristalización o nueva textura en las rocas.

El metamorfismo en las rocas puede variar de ligero a extremadamente fuerte. Las rocas que muestran cambios poco profundos no se clasifican comúnmente como metamórficas. Una roca metamórfica es aquella cuyas características distintivas han sido producidas por metamorfismo.

Las características generales de las rocas metamórficas, incluyen una estructura bandeada y una textura en la que se tiene un intercrecimiento y un entrelazamiento de los cristales.

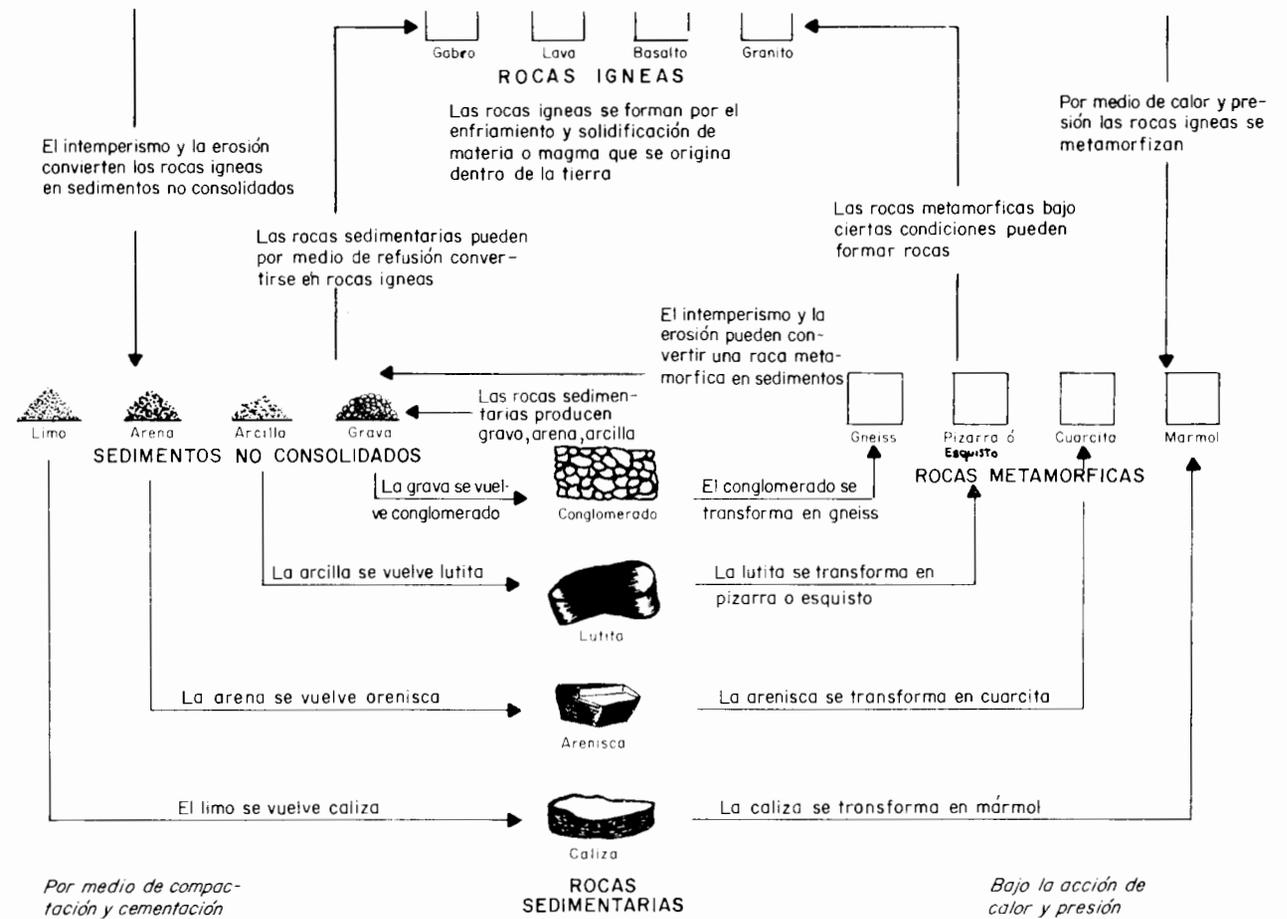
El fenómeno del metamorfismo es producido principalmente por altas temperaturas (termo metamorfismo) y por intensos esfuerzos (dinamo metamorfismo). También puede ser producida por el efecto de aguas termominerales, de gases, o de otros agentes en menor escala.

La tabla d proporciona una clasificación simplificada de las rocas metamórficas.

En la siguiente representación del ciclo de las rocas, puede verse que éstas pueden pasar de ígneas a sedimentarias y metamórficas a través de diversos procesos.

Tabla d. Clasificación de las rocas metamórficas comunes.

Textura	Estructura	
	Foliada	Masiva
Cristalina gruesa	gneiss	conglomerita gneis granítico
Cristalina media	esquistos { Sericita mica talco clorita hematita, etc.	mármol cuarcita serpentina
Cristalina fina a microscópica	filita pizarra	hornfels antracita



La tabla I.2, tomada del Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE, presenta en forma global y a manera de resumen final, los tipos de rocas que existen de acuerdo a su origen, así como algunas características y propiedades de interés, como son la composición, textura, estructura, tonalidad, densidad, porosidad, resistencia a la compresión, a la tensión y al corte.

## 5. PROPIEDADES GENERALES DE LAS ROCAS

### 5.1 Propiedades Físicas

Dentro de las propiedades físicas de las rocas podemos citar las siguientes:

#### 5.1.1 Porosidad

En términos generales la porosidad de un material, es su propiedad de presentar huecos o vacíos.

En una roca se considera como la relación que existe entre el volumen de poros y el volumen total de la roca.

$$\text{Porosidad (\%)} = \frac{V_V}{V_T} \times 100$$

donde:  $V_V$  = volumen total de vacíos de la roca ( $L^3$ )  $m^3$ ,  $cm^3$

$V_T$  = volumen total de la roca  
( $L^3$ )  $m^3$ ,  $cm^3$

Para medir la porosidad de un material se hace uso del porosímetro de mercurio.

#### 5.1.2 Absorción

En general se llama absorción a la penetración íntima y sucesiva de un vapor, de un líquido o de un gas en una materia inorgánica.

En una roca, será la capacidad de absorber agua al sumergirla en un recipiente que contenga dicho elemento.

Puede expresarse como la relación entre el peso del agua absorbida y el peso de la roca.

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{W_w - W_o}{W_o} \times 100$$

donde:  $W_w$  = peso de la roca saturada con agua  
 $W_o$  = peso de la roca seca

### 5.1.3 Capilaridad

Siempre que existe contacto entre un líquido y una pared sólida se observan los Fenómenos de Capilaridad. Estos fenómenos se deben al hecho de que los líquidos no son fluidos perfectos y su superficie se comporta como si fuera un sólido elástico.

En cuanto a rocas se refiere, capilaridad se define como la propiedad de ascender de los líquidos que se encuentran en contacto con el cuerpo de la roca. Puede expresarse por la relación:

$$K = \frac{P}{St}$$

donde:  $K$  = capilaridad  
 $P$  = peso del agua absorbida en gramos  
 $S$  = sección de la probeta en  $\text{cm}^2$   
 $t$  = tiempo en minutos desde el proceso de inmersión

#### 5.1.4 Densidad

Densidad de una roca se define como la relación que existe entre su masa y su volumen o bien, la masa contenida en la unidad de volumen de dicha roca.

$$\text{Densidad} = \frac{M}{V}$$

donde: M = masa de la roca (M) kg, gr  
V = volumen de la roca (L<sup>3</sup>) m<sup>3</sup>, cm<sup>3</sup>

#### 5.1.5 Peso Específico

Peso Específico de una roca es la relación que existe entre su peso y su volumen o bien, es el peso en la unidad de volumen de dicha roca.

$$\text{Peso Específico} = \frac{P}{V}$$

donde: P = peso de la roca (F) P, kp  
V = volumen de la roca (L<sup>3</sup>) cm<sup>3</sup>, dm<sup>3</sup>

#### 5.1.6 Permeabilidad

La Permeabilidad de una roca es la facilidad o dificultad con la que puede ser atravesada por un fluido (agua, vapor de agua, aire) a causa de una diferencia de presión entre las dos superficies opuestas de ésta.

La permeabilidad al agua en las rocas, se rige por la ley experimental de Darcy que se sintetiza en la siguiente expresión:

$$V = ki$$

donde: V = velocidad del flujo dentro de un material poroso ( $\frac{L}{T}$ ) cm/seg.

$k$  = coeficiente de permeabilidad ( $\frac{L}{T}$ ) cm/seg o cm/hr

$i$  = gradiente hidráulico  $\frac{\text{diferencia de presión}}{\text{longitud aparente}}$  = adimensional

## 5.2 Propiedades Mecánicas

Cuando un cuerpo está expuesto a un sistema de cargas o fuerzas, éste presenta dos tipos de efectos: uno interno que se traduce en fuerzas interiores que producen esfuerzos y deformaciones y otro externo que se traduce en un movimiento de dicho cuerpo.

La deformabilidad y resistencia de un macizo rocoso dependen de la resistencia y compresibilidad del material constitutivo de dicho macizo.

Dentro de las propiedades mecánicas de las rocas que interesan al Ingeniero Civil, se encuentran las siguientes:

### 5.2.1 Resistencia a la Tensión

Se denomina resistencia a la tensión en las rocas, a la oposición que presentan éstas al ser separadas por la acción de un esfuerzo de tensión.

Esta resistencia varía entre  $\frac{1}{8}$  y  $\frac{1}{5}$  de la resistencia a compresión. Dependiendo del tipo de roca empleado, la resistencia a la tensión en flexión de las rocas sufre variaciones siendo de 60 a 120 kg/cm<sup>2</sup> en areniscas y de 35 a 200 kg/cm<sup>2</sup> en mármoles.



Durante una voladura con explosivos, la roca está sometida a esfuerzos de tensión.

### 5.2.2 Resistencia a la Compresión

La resistencia a la Compresión es la oposición que presentan las rocas a reducir los espacios entre partículas por efecto de esfuerzos de compresión. Varía de 50 a 3500 kg/cm<sup>2</sup>.

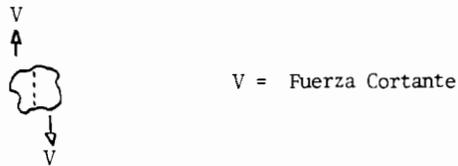


En una cimentación de mampostería, las rocas están sujetas a compresión.

### 5.2.3 Resistencia al Esfuerzo Cortante

Es la resistencia a la oposición que presentan las rocas ante un esfuerzo de corte o esfuerzo tangencial que tiende a mover una parte del cuerpo de la roca con respecto a la obra.

Esta resistencia es del orden de  $\frac{1}{15}$  de la resistencia a la compresión.



### 5.2.4 Resistencia al Desgaste

La resistencia al desgaste en las rocas depende de la dureza y abrasividad de las mismas.

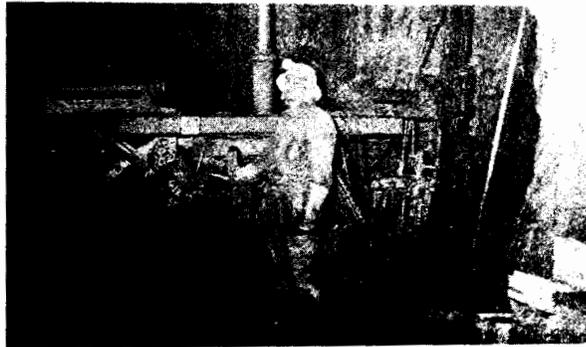
Esta propiedad puede medirse sometiendo a frotamiento la muestra de roca con una pista giratoria que contiene material abrasivo, o bien, aplicando a dicha muestra la presión de un chorro de agua.

6. EXPLOTACION DE ROCA

Las rocas se obtienen de canteras que previamente han sido localizadas.

Las canteras a cielo abierto pueden ser en ladera cuando - la roca se extrae de la falda de un cerro o en galerías cuando la roca se extrae de cierta profundidad del terreno, esta última forma de explotación se ha venido desechando -- actualmente debido a su alto costo.

Canteras a Cielo Abierto



Galerías

En la explotación de roca podremos encontrar las siguientes casos importantes:

Roca graduada (En la que se piden requerimientos de tamaño)	{	Para trituración
		Para enrocamientos etc.
Roca sin graduar (cortes) (En los que no se piden requerimientos de tamaño)	}	

Ahora bien, para llevar a cabo la explotación de una cantera se realizan fundamentalmente los siguientes procesos:

Extracción	{	Con Arado
		Con Explosivos
Carga	{	En distancias cortas para alimentar otra máquina (Quebradora)
		En distancias largas para pedraplén
Acarreo	{	En distancias cortas para alimentar otra máquina (Quebradora)
		En distancias cortas para formar un pedraplén
		A distancia

## 6.1 Extracción

La extracción consiste en separar un fragmento de roca de un banco ó corte, reducido al tamaño adecuado para el uso a que se destine. Para enrocamientos el tamaño esta limitado por el proyecto, especificaciones y por el equipo de carga y acarreo, así como para corte y pedraplén el tamaño estará limitado por el equipo de carga y acarreo o por la capacidad de los tractores.

La extracción de roca se puede llevar a cabo con el - auxilio de tractores que cuentan con un aditamento -- específico para este trabajo, denominado arado o desgarrador, el cual se acopla a la parte posterior del tractor y consiste en una viga horizontal que tiene en su extremo un vástago vertical y éste a su vez termina en su parte inferior en una punta llamada casquillo. Al penetrar el vástago con su casquillo en el terreno y ser jalados por la fuerza tractiva, van rompiendo la estructura del material que se pretende excavar, lo- - grando con esto el afloje requerido del material para que posteriormente pueda cargarse mediante el equipo idóneo, según el procedimiento de construcción que se haya planeado de acuerdo con el proyecto.

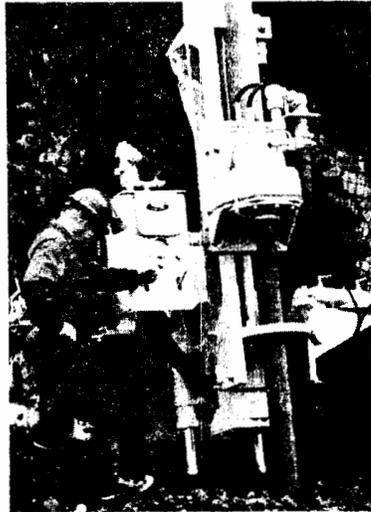
Otra forma de extraer la roca es por medio de explosivos, entendiéndose por explosivos todas aquellas sustancias de poca estabilidad química, que son capaces al incendiarse o detonar de producir una gran cantidad de energía, la que producirá una explosión. Si esta está confinada se aprovecha para separar la roca del banco (tronada).

Este procedimiento comprende una serie de operaciones cuya finalidad es el desprender un determinado volumen de material de un macizo rocoso.

Dichas operaciones son las siguientes:

#### 6.1.1 Barrenación.

Consiste en hacer una serie de perforaciones denominadas barrenos convenientemente distribuidos por medio de herramientas elementales o maquinaria especializada para la perforación.



### 6.1.2 Carga.

Consiste en colocar explosivos en los barrenos para detonarlos y fracturar el material a un tamaño adecuado, transportándolo posteriormente con el equipo de rezaga.

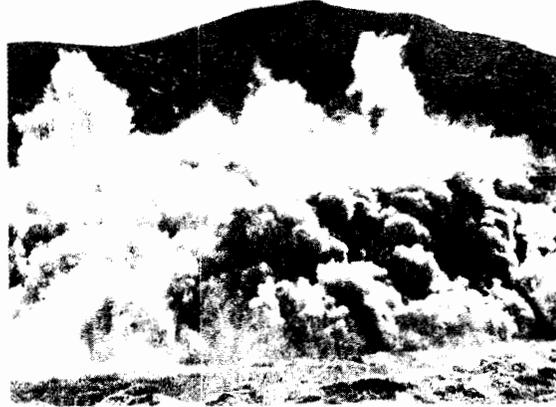


### 6.1.3 Retaque.

Consiste en llenar una porción libre de barreno prevista entre los explosivos y la superficie con material inerte (arena, residuos finos de perforación, etc) para poder confinar perfectamente los explosivos.

#### 6.1.4 Detonación.

Esta operación se lleva a cabo una vez que se han cargado los barrenos con el explosivo adecuado y realizado las conexiones necesarias para producir la explosión.



#### 6.1.5 Moneo.

Cuando el material producto de la voladura no cumple con las especificaciones de tamaño de acuerdo al uso a que se ha destinado, se lleva a cabo esta operación que consiste simplemente en reducir de tamaño los bloques de roca.

## 6.2 Carga y Acarreo.

Cuando se presente el caso de acarreo de roca a distancia corta para pedraplenes, normalmente se usan tractores, pues sirven también para acomodar la roca.

En carga y acarreo a distancia corta para alimentar otra máquina (quebradora) se usó durante mucho tiempo pala y camiones. Con el perfeccionamiento de los cargadores -- frontales, especialmente los de neumáticos, éstos han -- ido desplazando a las palas y camiones, haciendo ellos mismos las dos operaciones.

Ahora bien, en el caso de carga y acarreo a distancias largas se ha observado que solamente es económico en camiones especiales para ello como los tipo Euclid.

## 6.3 Tratamiento.

El tipo de tratamiento a que deben ser sometidas las rocas después de la voladura depende del uso a que estén destinadas.

En ocasiones es necesario aplicar el moneo, en otros casos es necesario someter a la roca a procesos de trituración para obtener agregados pétreos, o bien se labra para ser utilizada en acabados como elemento decorativo.

Cuando las condiciones naturales no son propicias para la estabilidad de macizos rocosos en donde se desea -- construir se recurre a inyecciones de lechadas de cemento y en ocasiones a dispositivos de anclaje consistentes en barras de acero.

Este tratamiento requiere de una previa barrenación, en donde se introducirá a presión la lechada y el dispositivo de anclaje.

Es aplicable este tipo de tratamiento generalmente en cimentaciones, túneles, así como en cortes hechos en determinadas zonas para el paso de vías de comunicación.

Es importante proteger las rocas, una vez utilizadas en alguna obra de los agentes atmosféricos, para esto se usan una serie de productos como el Silicato sódico ó vidrio soluble, los fluatos que son disoluciones incoloras de fluoruros metálicos, la testalina que es un tratamiento a base de jabón, aceite y acetato de alúmina, pinturas al óleo, silicatos de etilo y otros productos.



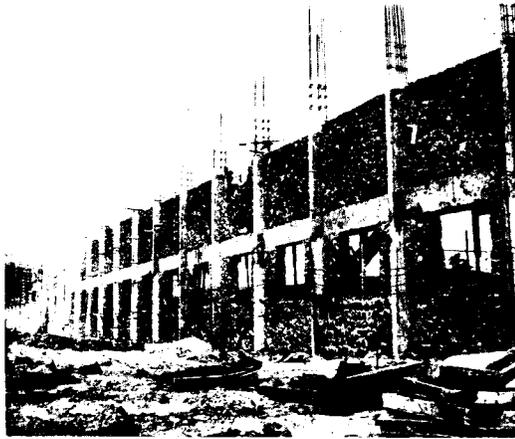
## 7. APLICACIONES DE LAS ROCAS EN LA CONSTRUCCION

El uso de las rocas es frecuente en la industria de la construcción debido a las propiedades físicas y mecánicas que las caracterizan.

Algunas de las múltiples aplicaciones que tienen las rocas se presentan a continuación:

- 7.1 Mamposterías
- 7.2 Rompeolas
- 7.3 Enrocamiento en cortinas de materiales graduados
- 7.4 Materia prima para la obtención de agregados pétreos, utilizados a su vez en la fabricación de concreto hidráulico y asfáltico, pavimentos y balasto en vías férreas
- 7.5 Acabados
- 7.6 Diques
- 7.7 Empedrados en calles y caminos
- 7.8 Brocal en pozos
- 7.9 Pisos
- 7.10 Escaleras
- 7.11 Alcantarillas
- 7.12 Cimentaciones, etc.

## 7.1 Mamposterías



Mampostería es el conjunto monolítico formado por rocas unidas con un material cementante.

Dicho conjunto presenta una considerable resistencia a la compresión, pero es débil en tensión.

En pruebas efectuadas en especímenes aproximadamente cúbicos de 40 cm por lado, se han obtenido resistencias del orden de  $200 \text{ kg/cm}^2$  (en mamposterías de primera) y de  $120 \text{ kg/cm}^2$  (en mampostería ordinaria).

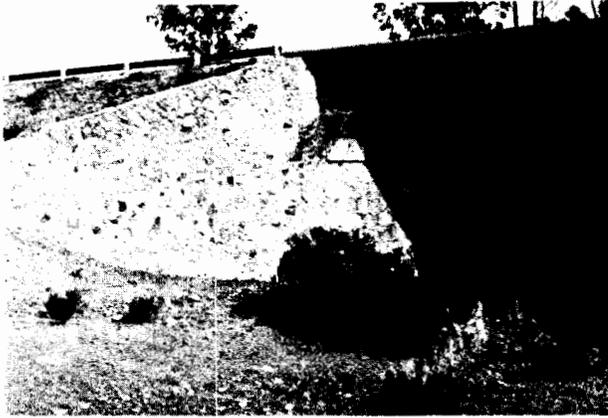
La mampostería se utiliza generalmente en cimentaciones, muros de contención, silos, construcción de bodegas, casas habitación, apoyo para puentes, etc.



Muros de Contención



Casa Habitación



Apoyos para Puente



Un rompeolas es una estructura que protege contra las olas un área costera, puerto, bahía o un atracadero. Los rompeolas se construyen para crear calma suficiente en el área de un puerto, y por lo tanto proporcionan protección para lograr seguridad de atraque, operación y manejo de las embarcaciones.

Las dimensiones de las rocas para la construcción del rompeolas estará en función de las características de las olas, es decir, se debe tener un tamaño de roca ( y por lo tanto un peso mínimo ) que resista adecuadamente la acción del oleaje reinante.

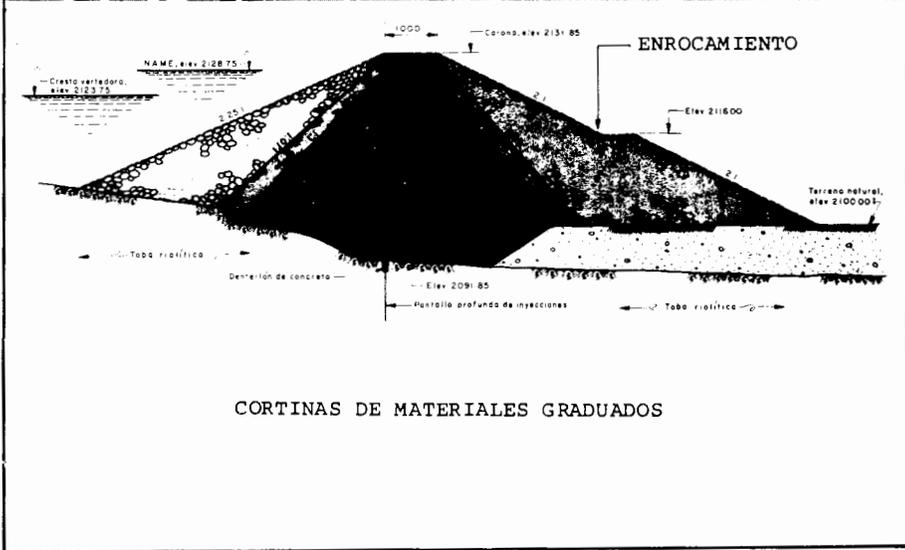
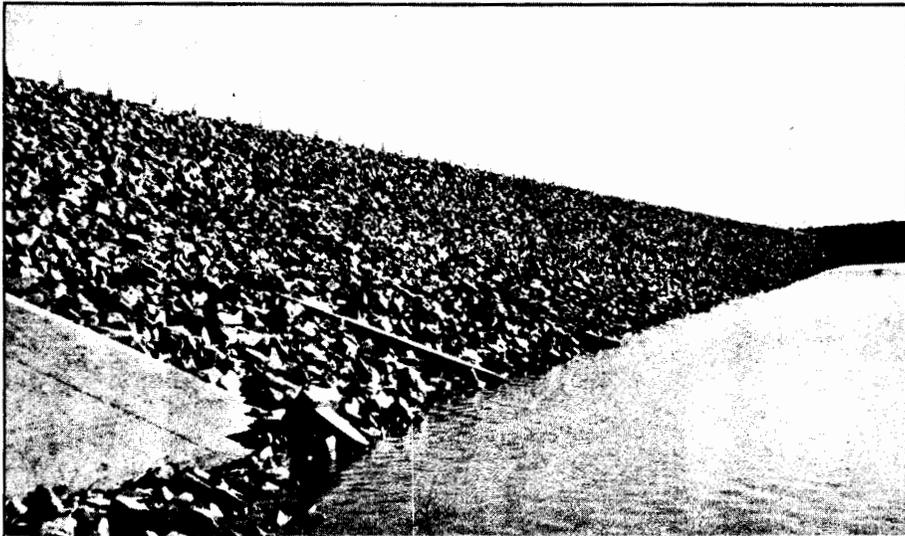
Las normas que deberán satisfacer las rocas que se apliquen al proyecto de un rompeolas son las siguientes:

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1. Resistencia a la compresión en estado húmedo | 150 kg/cm <sup>2</sup><br>Mínimo |
|---|----------------------------------|

2.- Resistencia a la compresión en estado húmedo aplicando la carga paralelamente a los planos de Formación, cuando los haya	100 kg/cm <sup>2</sup> Mínimo
3.- Absorción en por ciento	4 Máximo
4.- Densidad	2.3 Mínimo
5.- Resistencia al intemperismo acelerado, por ciento de pérdida en peso	10 Máximo
6.- Resistencia al desgaste determinado por la prueba de los ángeles, en por ciento	40 Máximo

### 7.3 Enrocamiento en Cortinas de Materiales Graduados

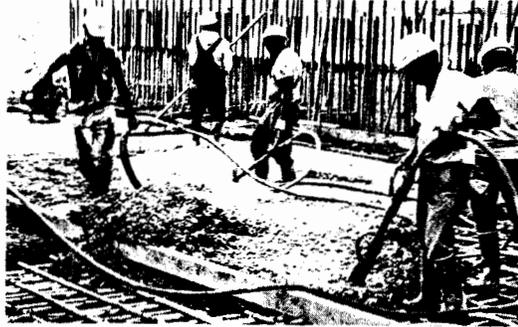
Es común utilizar en cortinas de tierra este tipo de protección, para contrarrestar el oleaje producido por la acción del viento, evitando con esta protección posibles erosiones que en un momento dado puedan provocar inestabilidad en la estructura.



202-43400-6. U. JAIME 6  
 7/2

7.4 Materia Prima para la Obtención de Agregados Pétreos, Utilizados a su Vez en la Fabricación de Concreto Hidráulico y Asfáltico, Pavimentos y Balasto en Vías Férreas.

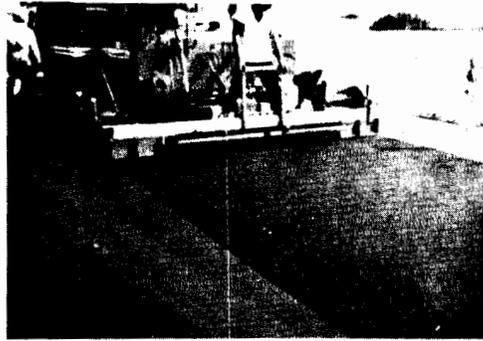
7.4.1 Agregados Pétreos en la Elaboración de Concreto Hidráulico.



El agregado pétreo, que es todo aquel fragmento de roca de tamaño específico, en combinación con un material aglutinante forma concreto que es el material de construcción más utilizado en nuestro medio.

El agregado ocupa aproximadamente las tres cuartas partes del volumen del concreto.

#### 7.4.2 Agregados Pétreos en la Elaboración de Concreto Asfáltico

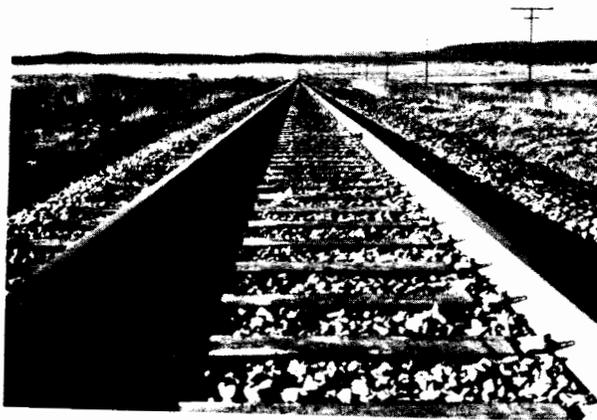


Los agregados pétreos en combinación con el asfalto (aglutinante) forman el concreto asfáltico, material de gran uso en obras públicas tales como el revestimiento de calzadas, caminos, etc.

7.4.3 Agregados Pétreos en la Construcción de Pavimentos.



7.4.4 Balasto en Vías Férreas



Balasto es el material pétreo que se tiende bajo las vías de los ferrocarriles para asentar y sujetar los durmientes.

#### 7.5 Acabados



En la construcción de edificios y casas habitación es frecuente el uso de piedras labradas para el revestimiento de muros, con el objeto de hacerlos agradables a la vista y protegerlos contra el intemperismo.

Las rocas comúnmente utilizadas para este efecto son los granitos y las calizas.

7.6 Diques



7.7 Empredados en Calles y Caminos



7.8 Brocal en Pozos



7.9 Pisos

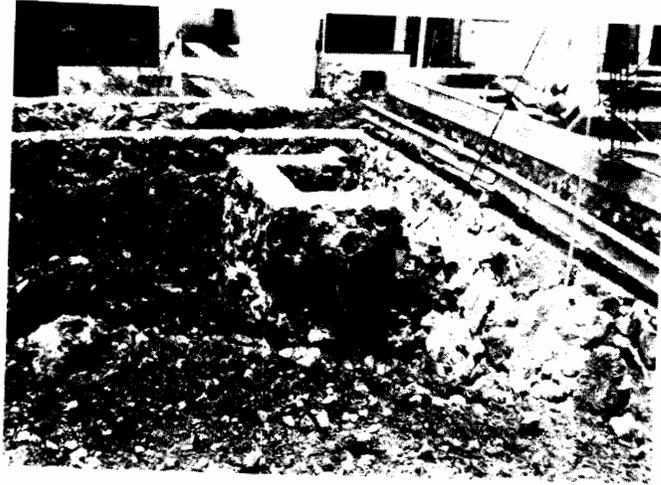


7.10 Escaleras



7.11 Alcantarillas





BIBLIOGRAFIA

GEOLOGIA FISICA

Longwell y Flint  
Ed. Limusa 1a. Edición  
México, 1981

FUNDAMENTOS DE GEOLOGIA FISICA

Leet y Judson  
Ed. Limusa 1a. Edición  
México, 1980

GEOLOGIA

Richard M. Pearl  
Ed. CECSA 3a. Edición  
México, 1975

FISICA GENERAL

Salvador Mosqueira  
Ed. Patria 2a. Edición  
México, 1977

MECANICA APLICADA

Jaime Torres H.  
Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A.  
2a. Edición  
México, 1979

ELEMENTOS DE MECANICA DEL MEDIO CONTINUO

Enzo Levi  
Ed. Limusa 1a. Edición  
México, 1980

INTRODUCCION A LA MECANICA DE SOLIDOS

Egor P. Popov  
Ed. Limusa 1a. Edición  
México, 1982

TRATADO DE CONSTRUCCION (TOMO I)

Antonio Miguel Saad  
Ed. CECSA 10a. Reimpresión  
México, 1978

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION

Ediciones C.E.A.C., S. A.  
Barcelona, 1977

MATERIALES Y ELEMENTOS DE CONSTRUCCION

Ediciones C.E.A.C., S. A.  
Barcelona, 1975

CONSTRUCCIONES EN ROCA

Colegio de Ingenieros Civiles de México  
México, 1965

APUNTES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

Facultad de Ingeniería, UNAM.  
Departamento de Construcción  
México, 1984

REVISTA IMCYC,

Vol. 21 Núm. 152  
México, Diciembre, 1983